

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดหูกวาง

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดหูกวางแสดงในตาราง 5 พบว่าเมล็ดหูกวางมีปริมาณความชื้น 4.34 % ปริมาณโปรตีน 23.23 % ปริมาณไขมัน 60.04 % ปริมาณเยื่อใย 8.52 % ปริมาณเถ้า 4.22 % และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 12.45 % ซึ่งในเมล็ดหูกวางมีปริมาณไขมันที่สูงกว่าในเมล็ดถั่วเหลือง (21%) ถั่วลิสง (49%) และเมล็ดทานตะวัน (28%) (Min and Steenson, 1998; Coultate, 1999)

ตาราง 5 องค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดหูกวาง

องค์ประกอบ	ปริมาณ(% น้ำหนักแห้ง)	
	เมล็ดหูกวาง	เมล็ดถั่วเหลือง*
ความชื้น	4.34 ± 0.13	5.20 ± 0.7
โปรตีน	23.23 ± 0.01	38.43 ± 1.60
ไขมัน	60.04 ± 0.01	21.00 ± 1.89
เยื่อใย	8.52 ± 0.17	0.08 ± 0.01
เถ้า	4.22 ± 0.14	1.15 ± 0.30
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	12.45	34.51

หมายเหตุ: * Perera, et al., 2014

ผลของวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดหูกวางต่อปริมาณน้ำมันและคุณภาพน้ำมัน

ปริมาณน้ำมันจากวิธีการสกัดน้ำมันหูกวางด้วยตัวทำละลายเฮกเซนโดยการสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ต (Soxhlet extractor) และการสกัดด้วยวิธีการหมักทั้งมีและไม่มีการใช้ปัจจัยเร่ง (การเขย่าและความร้อน) แสดงดังตาราง 6 การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ตได้ปริมาณน้ำมันสูง (57.50 %) กว่าวิธีการหมักที่มีและไม่มีสภาวะเร่ง (51 และ 49% ตามลำดับ) เนื่องจากการสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ตสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส) กว่าวิธีการหมักและที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสพร้อมกับการเขย่าไม่มีผลต่อปริมาณร้อยละของน้ำมันเนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างปริมาณร้อยละน้ำมันของทั้งสองวิธีการหมัก

ตาราง 6 ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากวิธีการสกัด 3 วิธี

วิธีการสกัด	ปริมาณน้ำมันสุทธิ (% น้ำหนักแห้ง)
การสกัดด้วยวิธีการหมัก	49.49 ±0.69 ^b
การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	51.16 ±0.43 ^b
การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ต	57.50 ±1.30 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ปัจจัยเร่ง คือ การเขย่าและการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง

1. กรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดหูกวาง

ผลการศึกษาปริมาณกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดหูกวางที่สกัดจาก 3 วิธี แสดงดังตาราง 7 ผลการทดลองพบว่ากรดปาล์มิติก (C16:0) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวหลักที่พบในน้ำมันหูกวาง น้ำมันที่สกัดโดย 3 วิธี ให้ปริมาณกรดไขมันดังกล่าวอยู่ในช่วง 31.38 ถึง 33.08% การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ตมีปริมาณกรดสเตียริก (C18:0) (8.46%) สูงกว่าวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) ในน้ำมันหูกวางที่สกัดได้จาก 3 วิธีอยู่ในช่วง 24.65 ถึง 31.72% และกรดไขมันหลักที่พบคือ กรดโอเลอิก (C18:1) อยู่ในช่วง 24.65 ถึง 31.72% โดยกรดโอเลอิกในน้ำมันมีประโยชน์ในด้านของโภชนาการ (Corbett, 2003) มีผลการศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าการบริโภค MUFA ในปริมาณสูงสามารถป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Reaven, et al., 1994) ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันหูกวางที่สกัดได้จาก 3 วิธีอยู่ในช่วง 23.03 ถึง 31.07% โดยมีกรดไลโนเลอิก (C18:2) อยู่ 31.07% โดยการสกัดที่ใช้ความร้อนได้แก่ เครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต และการสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวไลโนเลอิก เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดหูกวางมีอัตราส่วนกรดไขมันอิ่มตัว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (SFA: MUFA: PUFA) ใกล้เคียงกับคำแนะนำสัดส่วนของกรดไขมันที่เหมาะสมกับการบริโภคโดยสถาบัน National Cholesterol Education Program (NCEP) และ American Heart Association (AHA) ที่มีอัตราส่วนของกรดไขมันเป็น 1:1.1:1 หรือ 1:1.5:1 มากกว่ากรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันงาแสดงดังตาราง 8

ตาราง 7 ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันหูกวางที่สกัดจาก 3 วิธี

กรดไขมัน	วิธีการสกัด (%)		
	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซีออกเล็ด
กรดไขมันอิ่มตัว (SFA)			
C16:0	33.08 ± 0.81 ^a	33.72 ± 1.36 ^a	31.38 ± 10.26 ^a
C18:0	6.06 ± 0.21 ^b	4.94 ± 0.54 ^b	8.46 ± 0.41 ^a
C20:0	0.75 ± 0.03 ^b	0	1.03 ± 0.06 ^a
รวม	39.89	38.66	40.08
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA)			
C18:1	24.65 ± 1.97 ^a	28.42 ± 1.40 ^a	31.72 ± 13.56 ^a
รวม	24.65	28.42	31.72
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA)			
C18:2	31.07 ± 0.92 ^a	28.52 ± 1.39 ^{ab}	22.92±3.77 ^b
C18:3	0	0	0.11±0.01 ^a
รวม	31.07	28.52	23.03
P/S	1.4	1.5	1.4
S:M:P	1.6:1:1.3	1.4:1:1	1.7:1.4:1

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตาราง 8 ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันชนิดอื่นๆ

กรดไขมัน	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันงา	น้ำมันปาล์ม
กรดไขมันอิ่มตัว (SFA)			
C12:0	0	0	0.3
C14:0	0.1	0	1.1
C16:0	11	9.9	45.1
C17:0	0	0	0
C18:0	4	5.2	4.7
C20:0	0.3	0	0
C22:0	0.1	0	0
รวม	15.5	15.1	51.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA)			
C14:1	0	0	0
C16:1	0.1	0.3	0.1
C18:1	23.4	41.2	38.8
รวม	23.5	41.5	38.9
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA)			
C18:2	53.2	43.3	9.4
C18:3	7.8	0.2	0.3
รวม	61	43.5	9.7
P/S	5.5	5.6	0.95
S:M:P	1:1.5:3.9	1:2.8:2.9	5.3:4:1

ที่มา: Chow, 1992

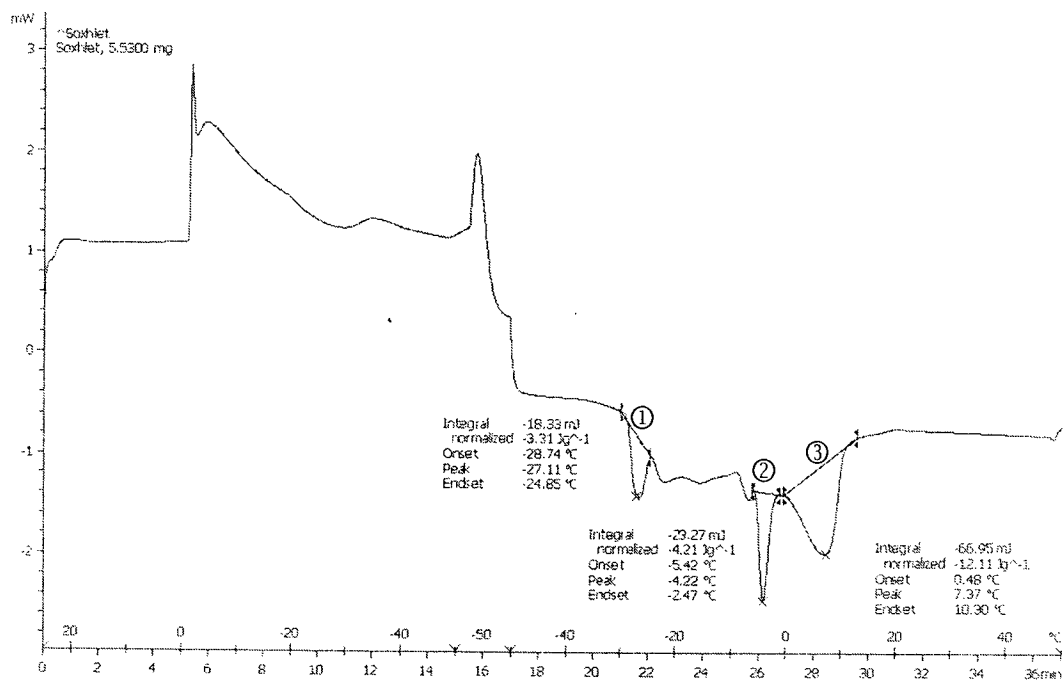
2. สมบัติทางกายภาพ

2.1 จุดหลอมเหลว

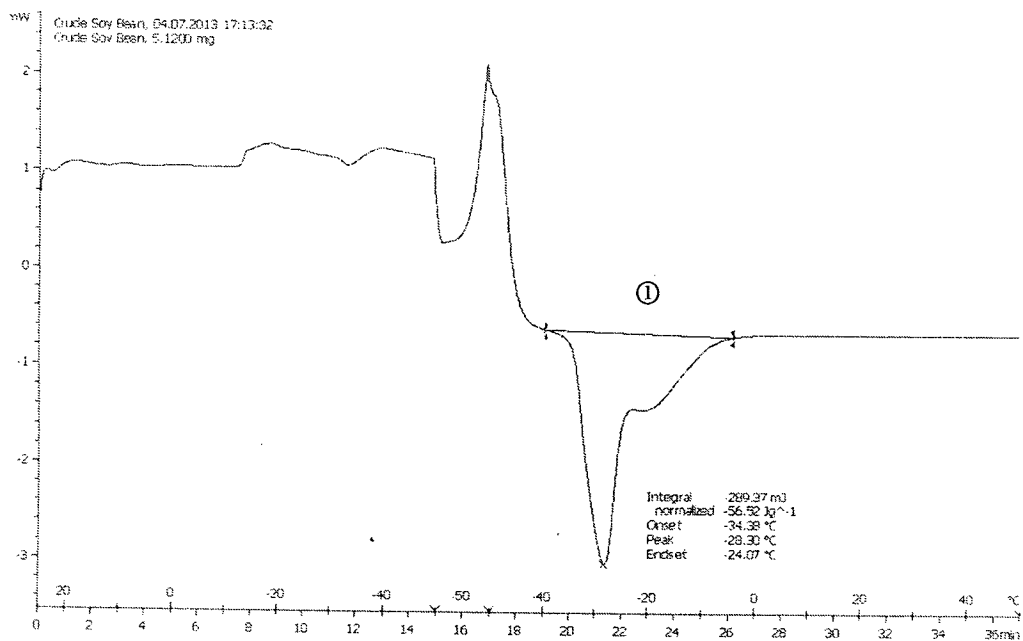
จุดหลอมเหลวเป็นค่าที่บอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยทั่วไปไขมันส่วนใหญ่จะมีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมันหรือน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (นิริยา รัตนাপนนท์, 2548) จากการวัดค่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันหูกวางโดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeters (DSC) พบว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ตประกอบด้วย 3 peak ดังภาพ 3 ในน้ำมันหูกวางจะมี peak 1 ที่มียอดสูง เป็น peak ที่สำคัญ แสดงให้เห็นที่ -27.11 องศาเซลเซียส ในน้ำมันหูกวางประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว จะแสดงลักษณะ peak ที่แตกต่างกันตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดย peak 2 มีลักษณะเป็นยอดแหลม มีจุดหลอมเหลวที่ -4.22 องศาเซลเซียส ส่วนใน peak 3 ไม่ได้มีลักษณะเป็นยอดแหลมมีจุดหลอมเหลวสูงที่ 7.37 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน (Tan and Che Man, 2000) และในน้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหลอมเหลวที่ -28 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในน้ำมันหูกวาง เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าน้ำมันหูกวาง ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่ากรดไขมันอิ่มตัว จึงทำให้จุดหลอมเหลวของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหูกวาง ดังตาราง 9

ตาราง 9 จุดหลอมเหลวของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองจากเทคนิค Differential Scanning Calorimeters (DSC)

ตัวอย่าง	Transition temperature (°C)		
	1	2	3
น้ำมันเมล็ดหูกวาง	-27.11	-4.22	7.37
น้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง	-28.30		



ภาพ 3 จุดหลอมเหลวของน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซีอ็อกเล็ดจากเทคนิค Differential Scanning Calorimeters



ภาพ 4 จุดหลอมเหลวของน้ำมันถั่วเหลืองที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซีอ็อกเล็ดจากเทคนิค Differential Scanning Calorimeters

2.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ

น้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดจาก 3 วิธีได้แก่การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต และการสกัดด้วยวิธีการหมักทั้งมีและไม่มีปัจจัยเร่ง มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตาราง 10 โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.89 และน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 0.91

2.3 ค่าความหนืด

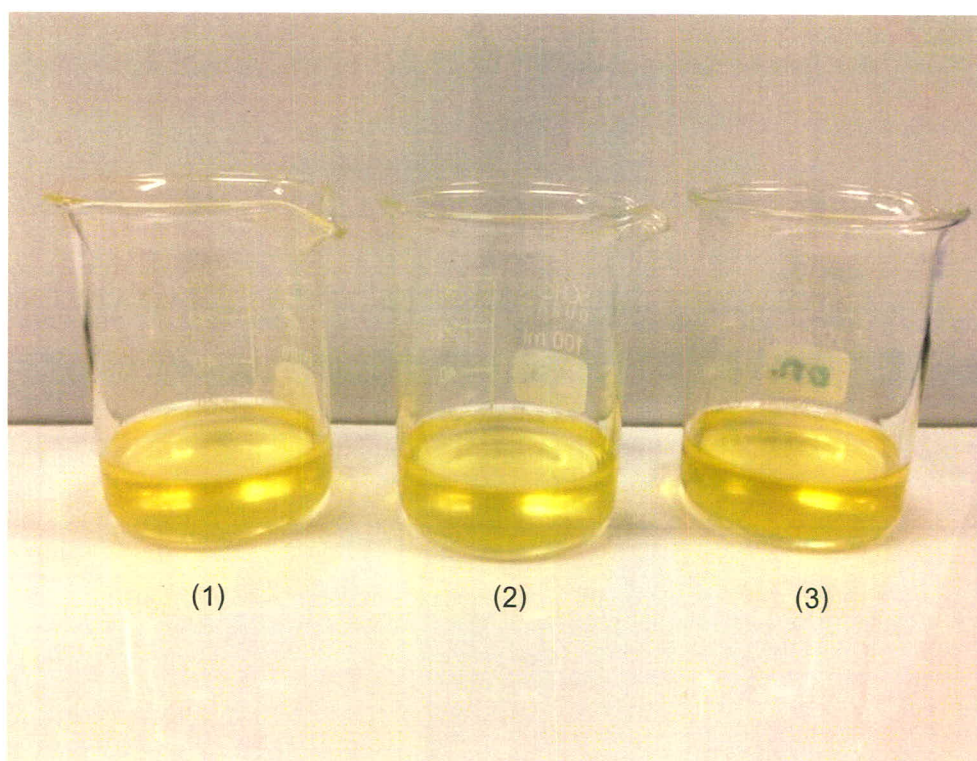
น้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางด้วยการสกัดด้วยวิธีการหมักและการสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง มีค่าความหนืดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตาราง 10 โดยมีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอยู่ในช่วง 36.30 ถึง 37.70 (cP) และน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต มีค่าความหนืด 33.50 (cP) ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำกว่าวิธีการสกัดอื่นๆ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน โดยความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2548) ซึ่งน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ตมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน (C18:3) สูงกว่าวิธีการอื่นๆ (ดังตาราง 7) จึงทำให้มีค่าความหนืดต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองพบว่าน้ำมันหูกวางจากทั้ง 3 วิธีการสกัดมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 25.4 ถึง 28.04 (cP)

2.4 ค่าสี

ค่าสีของน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดจาก 3 วิธีแสดงดังตาราง 10 ผลการทดลองพบว่าค่าสี L^* ซึ่งแสดงถึงความมืด-สว่าง (darkness = 0, lightness = 100) ทั้ง 3 วิธีการมีค่าสี L^* ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยน้ำมันดิบที่สกัดด้วยวิธีการหมักมีค่าสี L^* หรือค่าความสว่างที่สุดคือ 8.42 รองลงมาคือน้ำมันดิบที่สกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง มีค่า 6.83 และน้ำมันดิบที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ตมีค่า 6.33 ตามลำดับ ค่าสี a^* เป็นค่าแสดงสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงถึงค่าสีแดง และถ้าค่าลบแสดงถึงค่าสีเขียว โดยพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดทั้ง 3 วิธี มีค่าสี a^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.65 ถึง -0.56

ค่าสี b^* แสดงสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่าบวกแสดงค่าสีเหลือง ค่าสี b^* เป็นลบแสดงถึงค่าสีน้ำเงิน โดยพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางทั้ง 3 วิธีการมีค่าสี b^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.03 ถึง 1.05 ดังนั้นน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดด้วยวิธีการหมักจึงสว่างกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการอื่นๆ

เนื่องจากน้ำมันดิบที่สกัดด้วยวิธีการหมักโดยไม่ได้ผ่านสภาวะเร่ง ความร้อนและแสงช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันมีผลทำให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น (นิธิยา รัตนปนนท์, 2548)



ภาพ 5 สีของน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง (1) การสกัดด้วยวิธีการหมัก (2) การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง (3) การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซีออกเล็ด

ตาราง 10 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากเมล็ดนูกวาง

ชนิดน้ำมัน	วิธีการสกัด	ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 25 องศาเซลเซียส	ค่าความหนืด (cP)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
น้ำมันนูกวาง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	0.89 ± 0.00 ^b	37.70 ± 1.13 ^a	8.42 ± 0.10 ^a	-0.65 ± 0.14 ^c	1.04 ± 0.23 ^b
	การสกัดด้วยวิธีการหมัก ร่วมกับปัจจัยเร่ง	0.89 ± 0.00 ^b	36.30 ± 0.98 ^a	6.83 ± 0.11 ^b	-0.65 ± 0.13 ^c	1.05 ± 0.12 ^b
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัด แบบซ็อกเก็ต	0.89 ± 0.00 ^b	33.50 ± 1.06 ^b	6.33 ± 0.10 ^c	-0.56 ± 0.13 ^c	1.03 ± 0.11 ^b
น้ำมันถั่วเหลือง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	0.91 ± 0.00 ^a	27.83 ± 1.31 ^c	5.67 ± 0.10 ^d	1.27 ± 0.21 ^b	2.32 ± 0.32 ^a
	การสกัดด้วยวิธีการหมัก ร่วมกับปัจจัยเร่ง	0.91 ± 0.00 ^a	28.04 ± 1.53 ^c	5.43 ± 0.06 ^e	1.30 ± 0.13 ^b	2.41 ± 0.21 ^a
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัด แบบซ็อกเก็ต	0.91 ± 0.00 ^a	25.4 ± 0.21 ^c	5.36 ± 0.02 ^e	1.69 ± 0.69 ^a	2.57 ± 0.31 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

3. คุณสมบัติทางเคมี

ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันหูกวางแสดงในตาราง 11

3.1 ค่าสaponification value

ค่าสaponification value ของน้ำมันคือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์น้ำมันอย่างสมบูรณ์จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล เป็นค่าที่แสดงถึงน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดจากตัวทำละลายทั้ง 3 วิธี มีค่าสaponification value ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตาราง 11 ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางมีค่าสaponification value ในช่วง 178.71 ถึง 179.76 (mgKOH/1 g oil) ซึ่งแสดงถึงน้ำมันดิบที่ได้จากเมล็ดหูกวางมีน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันเท่ากันทั้ง 3 วิธีการและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลือง พบว่ามีค่าสaponification value ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าสaponification value อยู่ในช่วง 172.09 ถึง 177.39 (mgKOH/1 g oil)

3.2 สารสaponification value ไม่ได้ (Unsaponification value)

สารสaponification value ไม่ได้ เป็นกลุ่มของสารประกอบที่เหลืออยู่ภายหลังการทำสaponification value น้ำมัน ซึ่งอาจจะเป็นไฮโดรคาร์บอน สเตอรอล และขี้ผึ้ง เป็นต้น ซึ่งในน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางทั้ง 3 วิธีการมีสารสaponification value ไม่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตาราง 11 โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.78 ถึง 0.99 และในน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 วิธีการมีสารสaponification value ไม่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.45 ถึง 2.15 เมื่อเปรียบเทียบค่าสaponification value ไม่ได้ของน้ำดิบจากเมล็ดหูกวางกับน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองพบว่ามีสารที่สaponification value ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางมีสารสaponification value ไม่ได้น้อยกว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลือง

3.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรดคือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจำนวน 1 กรัม เป็นกลางพอดี และยังเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มในการเสื่อมเสียของน้ำมัน ถ้าความเป็นกรดสูงนั้นแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระมาก ซึ่งกรดไขมันขนาดเล็กจะระเหยได้ง่ายและทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ รวมทั้งการ

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย น้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 1.98 ถึง 2.34 (mg KOH/1 g oil) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลือง พบว่ามีค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 2.22 ถึง 2.62 (mg KOH/1 g oil) ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่วิเคราะห์กับค่ามาตรฐานน้ำมันและไขมันของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดค่าความเป็นกรดในน้ำมันดิบไว้ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อไขมันและน้ำมัน 1 กรัม โดยมีค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตาราง 11 ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางและเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 วิธีการมีค่ากรดที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขกำหนด

3.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์คือจำนวนมิลลิสมมูลย์ของเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูงแสดงถึงน้ำมันเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันมาก ผลการวิเคราะห์ค่าที่ได้พบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดด้วยวิธีการหมักและการสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 0.26 และ 0.29 (milliequiv/1 Kg oil) ตามลำดับ ดังตาราง 11 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต และน้ำมันถั่วเหลืองที่สกัดด้วยวิธีการหมักและการสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 0.65 0.74 และ 0.78 (milliequiv/1 Kg oil) ตามลำดับ ส่วนน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต มีค่าแตกต่างกันกับ 2 วิธีการแรกออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 1.13 (milliequiv/1 Kg oil) แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ตทำให้น้ำมันเกิดการเหม็นหืนมากกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส) กว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งความร้อนจะเป็นตัวช่วยเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันเหม็นหืนเร็วขึ้น เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันดิบไม่เกิน 10 มิลลิสมมูลย์ของเปอร์ออกไซด์ของออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางและเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 วิธีการมีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ตาราง 11 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากเมล็ดหูกวาง

ชนิดน้ำมัน	วิธีการสกัด	คุณภาพน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง				
		ค่าสaponifiy (mgKOH/1 g oil)	สารที่สaponifiy ไม่ได้ (% by weight)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/1 g oil)	ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequiv/1 Kg oil)
น้ำมันหูกวาง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	179.67 ± 10.17 ^a	0.78 ± 0.32 ^b	1.98 ± 0.28 ^{ns}	1.00 ± 0.14 ^{ns}	0.26 ± 0.10 ^c
	การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	179.76 ± 7.22 ^a	0.80 ± 0.47 ^b	2.09 ± 0.18 ^{ns}	1.05 ± 0.09 ^{ns}	0.29 ± 0.10 ^c
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต	178.71 ± 8.91 ^a	0.99 ± 0.33 ^b	2.34 ± 0.26 ^{ns}	1.18 ± 0.13 ^{ns}	0.65 ± 0.10 ^b
น้ำมันถั่วเหลือง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	175.30 ± 10.42 ^a	1.45 ± 0.48 ^{ab}	2.22 ± 0.15 ^{ns}	1.12 ± 0.08 ^{ns}	0.74 ± 0.26 ^b
	การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	177.39 ± 4.47 ^a	1.73 ± 0.98 ^a	2.33 ± 0.13 ^{ns}	1.17 ± 0.06 ^{ns}	0.78 ± 0.25 ^b
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต	172.02 ± 11.36 ^a	2.15 ± 0.29 ^a	2.62 ± 1.21 ^{ns}	1.32 ± 0.61 ^{ns}	1.13 ± 0.25 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

3.5 วิตามินอีและไฟโตสเตอรอล

โดยทั่วไปน้ำมันพืชเป็นแหล่งสำคัญของวิตามินอี (tocopherols) และไฟโตสเตอรอล (phytosterols) แสดงในตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอีและสารไฟโตสเตอรอล พบว่าน้ำมันเมล็ดหูกวางมีปริมาณวิตามินอีซึ่งอยู่ในไอโซฟอร์ม γ -tocopherol อยู่ 431 mg/Kg สูงกว่าในน้ำมันถั่วเหลือง (271 mg/Kg) (Lima, et al., 2007) แม้ว่าอัลฟาโทโคฟีรอลแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าแกมมาโทโคฟีรอล แต่มีรายงานถึงแกมมาโทโคฟีรอลเป็นสารด้านการอักเสบเมื่อเทียบกับไอโซฟอร์มอื่น โดยสามารถควบคุมการเกิดการอักเสบเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับโรคไขข้อ รวมทั้งโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือดและที่เกี่ยวกับระบบประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์ (Jiang, et al., 2001) น้ำมันหูกวางประกอบด้วยปริมาณไฟโตสเตอรอล 3,402 mg/Kg ส่วนใหญ่อยู่ในรูป β -sitosterol ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันเมล็ดฝ้าย (3,240 mg/Kg) และสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง (2,500 mg/Kg) (Abidi, 2001) ที่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบ β -sitosterol เช่นเดียวกัน (Chris and Jan, 2000) มีรายงานว่าสเตอรอลจากพืชมีมีผลต่อสุขภาพในเชิงบวกโดยสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลได้ (De, Plat and Mensink, 2003) โดยจะเข้ายับยั้งการดูดซึมควบคุมปริมาณการละลายและการย่อยคอเลสเตอรอลในลำไส้ ด้วยกลไกการเข้าไปแทนที่คอเลสเตอรอล ทำให้คอเลสเตอรอลถูกดูดซึมไม่ได้ จึงสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลลงได้ (Ostlund, 2004)

ตาราง 12 ปริมาณวิตามินอี ไฟโตสเตอรอล ในน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง

คุณภาพน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง	ปริมาณ
Gamma-tocopherol (mg/Kg)	431.80 $\pm$ 13.66
Phytosterols (mg/Kg)	3,402.20 $\pm$ 78.29
- β -sitosterol	1,995.00 $\pm$ 49.44
- Stigmasterol	907.68 $\pm$ 25.14
- Campesterol	296.77 $\pm$ 3.46
- Stigmastanol	202.53 $\pm$ 0.25

3.6 โลหะ

การทดสอบหาปริมาณโลหะในน้ำมันแสดงผลในตาราง 13 ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันหูกวางมีปริมาณโลหะเหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) เป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขกำหนดโดยมีปริมาณเหล็กต่ำกว่า 1.5 mg/Kg และปริมาณทองแดง ตะกั่ว และสารหนูต่ำกว่า 0.1 mg/Kg

ตาราง 13 ปริมาณโลหะในน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง

คุณภาพน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง	ปริมาณ	มาตรฐาน*
Metals (mg/Kg)		
เหล็ก (Fe)	< 0.1	< 1.5
ทองแดง (Cu)	< 0.1	< 0.1
ตะกั่ว (Pb)	< 0.1	< 0.1
สารหนู (As)	< 0.1	< 0.1

หมายเหตุ: *มาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

การทดลองวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านการดีกัมมิ่ง (Degumming) การกำจัดกรด (Neutralization) และการฟอกสี (Bleaching) ผลการทดลองแสดงในตาราง 14 และตาราง 17

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ

น้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าน้ำมันหูกวางทั้ง 3 วิธีการสกัดมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.88 และน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.90 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลสมบัติทางกายภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าความจำเพาะเท่ากับ 0.92 (Pike, 1994) อย่างไรก็ตามทั้งน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วจะมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงเล็กน้อยจาก 0.89 ลดลงมาที่ 0.88 และจาก 0.91

ลดลงมาที่ 0.90 ตามลำดับ เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการกำจัดสารจำพวกกำมะถันซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะมากออก

1.2 ค่าความหนืด

น้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 3 วิธี มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 37.90 ถึง 38.10 (cP) มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 28.77 ถึง 30.45 (cP) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลสมบัติทางกายภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าความหนืดเท่ากับ 29 cP (Fennema, 1985) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยการตีกับมิง การกำจัดกรด และการฟอกสี ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน โดยความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนานนท์, 2548) น้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันมีปริมาณลดลง มีผลทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น

1.3 ค่าสี

น้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี และผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าสี L^* หรือค่าความสว่างของน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยด้วยวิธีการหมักสูงที่สุดคือ 6.50 ส่วนน้ำมันหูกวางที่สกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง และน้ำมันดิบที่สกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต มีค่าสี L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่า 5.92 และ 5.99 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธีเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่าน้ำมันดิบ เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันมีการใช้ความร้อนหลายขั้นตอน ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ ส่วนค่าสี a^* พบว่าน้ำมันที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธีเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าสี a^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.33 ถึง -0.26 ซึ่งมีสีแดงมากกว่าในน้ำมันดิบ ในส่วนของค่าสี b^* พบว่าน้ำมันที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธีเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าสี b^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.84 ถึง 0.89 ซึ่งมีสีเหลืองต่ำกว่าในน้ำมันดิบ เนื่องจากการได้ผ่านกระบวนการฟอกสี ซึ่งเป็นกระบวนการที่แยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสีต่างๆ ที่ติดปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันออกไปหรือทำให้มีปริมาณน้อยลงการแยกเอาสารประกอบที่เป็นสีออกไปทำให้น้ำมันมีสีจางลง

ตาราง 14 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิบที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทั้ง 3 วิธีการสกัด

ชนิดน้ำมัน	วิธีการสกัด	ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 25 องศาเซลเซียส	ค่าความหนืด (cP)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
น้ำมันหูกวาง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	0.88 ± 0.00 ^b	38.10 ± 1.62 ^a	6.50 ± 0.08 ^a	-0.33 ± 0.05 ^b	0.85 ± 0.09 ^b
	การสกัดด้วยวิธีการหมัก ร่วมกับปัจจัยเร่ง	0.88 ± 0.00 ^b	37.96 ± 0.44 ^a	5.92 ± 0.12 ^b	-0.26 ± 0.04 ^b	0.89 ± 0.04 ^b
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัด แบบซ็อกเล็ต	0.88 ± 0.00 ^b	37.90 ± 1.59 ^a	5.99 ± 0.07 ^b	-0.30 ± 0.06 ^b	0.84 ± 0.08 ^b
น้ำมันถั่วเหลือง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	0.90 ± 0.00 ^a	28.77 ± 1.82 ^b	5.36 ± 0.13 ^c	0.30 ± 0.09 ^a	2.28 ± 0.08 ^a
	การสกัดด้วยวิธีการหมัก ร่วมกับปัจจัยเร่ง	0.90 ± 0.00 ^a	29.11 ± 0.64 ^b	5.21 ± 0.03 ^c	0.32 ± 0.12 ^a	2.23 ± 0.10 ^a
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัด แบบซ็อกเล็ต	0.90 ± 0.00 ^a	30.45 ± 1.03 ^b	5.30 ± 0.02 ^c	0.32 ± 0.16 ^a	2.29 ± 0.13 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

2. สมบัติทางเคมี

2.1 ค่าสaponนิฟาย (Saponification value)

น้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่ามีค่าสaponนิฟายไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในน้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว มีค่าสaponนิฟายอยู่ในช่วง 187.56 ถึง 188.21 (mgKOH/1 g oil) ซึ่งมีค่าสaponนิฟายสูงกว่าในน้ำมันดิบ (178.71 ถึง 179.76) เนื่องจากในน้ำมันดิบมีสารเจือปนบางชนิดที่มีสมบัติคล้ายไขมันเช่น ฟอสโฟลิปิด สารประกอบเชิงซ้อนไขมันและโปรตีน (fat-protein complex) โพลาริลิปิดรวมอยู่ด้วย เรียกว่ากัม (gum) มีอยู่ในน้ำมันดิบที่สกัดได้ในปริมาณมากโดยจะเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาของด่างที่ใช้ในการไฮโดรไลซิส ทำให้ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ทั้งหมด จึงทำให้ได้ค่าสaponนิฟายต่ำกว่าความเป็นจริง (จักรกฤษณ์ จังโส, 2551) และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งในน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าสaponนิฟายอยู่ในช่วง 195.25 ถึง 196.49 (mgKOH/1 g oil) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหูกวางมีค่าสaponนิฟายต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองจึงมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ส่วนหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง

2.2 สารสaponนิฟายไม่ได้ (Unsaponification value)

น้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่ามีค่าสารสaponนิฟายไม่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในน้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว มีค่าสaponนิฟายไม่ได้อยู่ในช่วง 0.73 ถึง 0.82 ซึ่งมีค่าสaponนิฟายไม่ได้ต่ำกว่าในน้ำมันดิบ (0.78 ถึง 0.99) เนื่องจากในกระบวนการกำจัดกรด (neutralization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่แยกเอาพวกกรดไขมันอิสระและสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำออกจากน้ำมัน ได้แก่ สารที่หลงเหลือจากการทำสaponนิฟายแล้ว ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของไฮโดรคาร์บอน สเตอรอล และซีผึ้ง จึงทำให้ค่าของสารที่สaponนิฟายไม่ได้ในน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งในน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าสaponนิฟายไม่ได้อยู่ในช่วง 1.63 ถึง 1.66 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันจากเมล็ดหูกวางมีสารสaponนิฟายไม่ได้ต่ำกว่าน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง

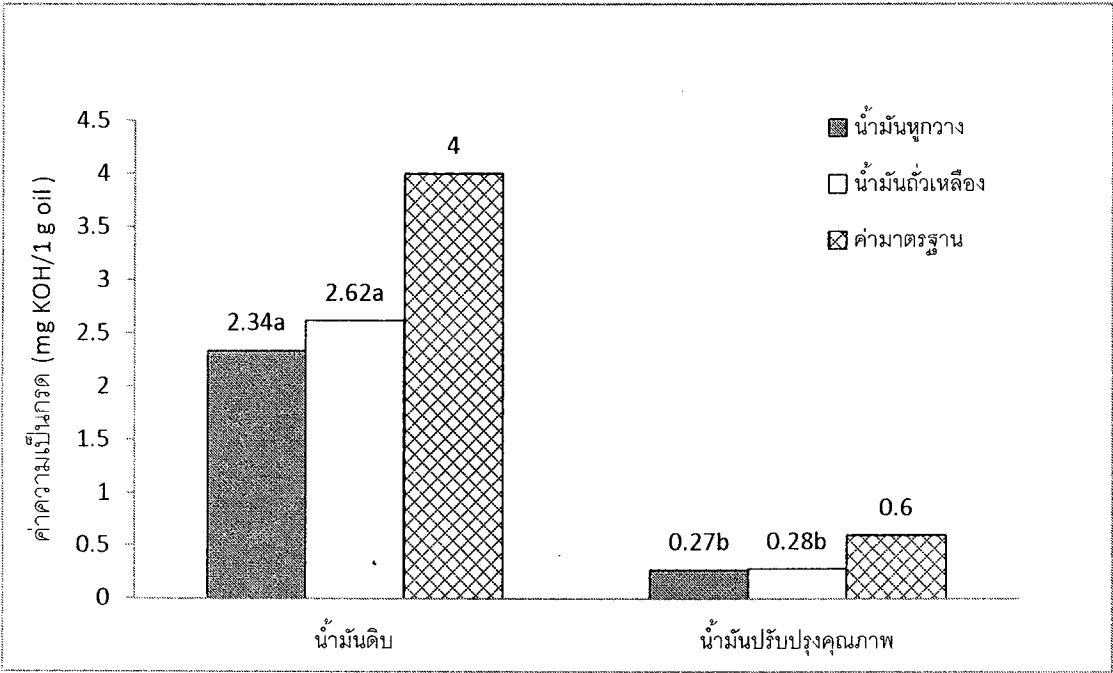
2.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าความเป็นกรดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงในตาราง 15 และภาพ 6 โดยพบว่ามีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.27 (mg KOH/1 g oil) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่ำกว่าในน้ำมันดิบ (1.98 ถึง 2.34) เนื่องจากในกระบวนการกำจัดกรด (neutralization) ได้กำจัดกรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ออกไปแล้ว จึงทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าต่ำลง และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่สกัดโดยวิธีการหมักแบบไม่บ่มขี้เถ้า พบว่า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยน้ำมันถั่วเหลืองที่สกัดด้วยวิธีการหมักแบบไม่บ่มขี้เถ้ามีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.27 (mg KOH/1 g oil) แต่น้ำมันถั่วเหลืองที่สกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับบ่มขี้เถ้าและการสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าน้ำมันหูกวางที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.28 (mg KOH/1 g oil) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำมันและไขมันซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดค่าของกรดในน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีไว้ไม่เกิน 0.6 mg KOH/1 g oil ซึ่งน้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าของกรดไม่เกินมาตรฐานกำหนด

ตาราง 15 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองและค่ามาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขโดยวิธีการสกัดแบบซ็อกเก็ต

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/1 g oil)	
	น้ำมันดิบ	น้ำมันปรับปรุงคุณภาพ
น้ำมันหูกวาง	2.34 ± 0.26 ^a	0.27 ± 0.00 ^b
น้ำมันถั่วเหลือง	2.62 ± 1.21 ^a	0.28 ± 0.00 ^b
ค่ามาตรฐาน	4	0.6

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)



ภาพ 6 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองและค่ามาตรฐาน
กระทรวงสาธารณสุขโดยวิธีการสกัดแบบซีออกเล็ด

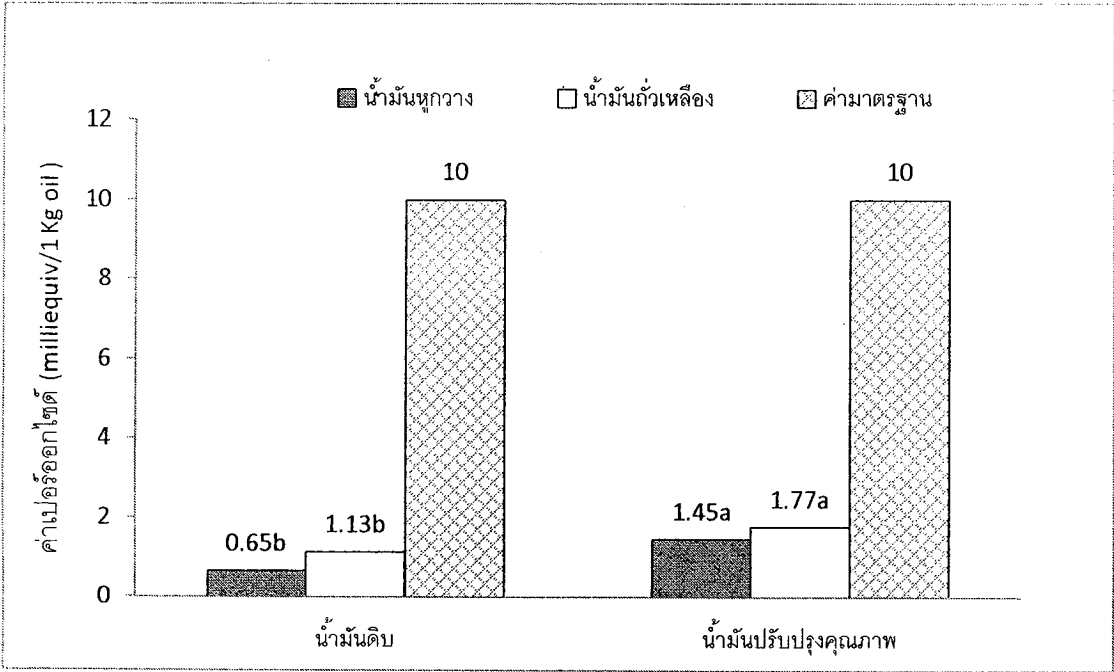
2.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

น้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงในตาราง 16 และ ภาพ 7 โดยพบว่ามีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 1.26 ถึง 1.45 (milliequiv/1 Kg oil) ซึ่งมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าในน้ำมันดิบ (0.26 ถึง 0.65) เนื่องจากในระหว่างการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันเป็นระบบเปิดไม่ใช้ระบบสุญญากาศทำให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันจึงมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งในน้ำมันถั่วเหลืองมีเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 1.64 ถึง 1.77 (milliequiv/1 Kg oil) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีไว้ไม่เกิน 10 milliequiv/1 Kg oil ซึ่งน้ำมันหูกวางที่สกัดจากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกินมาตรฐานกำหนด

ตาราง 16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองและค่ามาตรฐาน
กระทรวงสาธารณสุขโดยวิธีการสกัดแบบซีเอกส์

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequiv/1 Kg oil)	
	น้ำมันดิบ	น้ำมันปรับปรุงคุณภาพ
น้ำมันหูกวาง	0.65 ± 0.10 ^b	1.45 ± 0.02 ^a
น้ำมันถั่วเหลือง	1.13 ± 0.25 ^b	1.77 ± 0.26 ^a
ค่ามาตรฐาน	10	0.6

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
(p≤0.05)



ภาพ 7 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองและค่ามาตรฐาน
กระทรวงสาธารณสุขโดยวิธีการสกัดแบบซีเอกส์

ตาราง 17 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทั้ง 3 วิธีการสกัด

ชนิดน้ำมัน	วิธีการสกัด	คุณภาพน้ำมันดิบจากเมล็ดหูกวาง				
		ค่าสaponifiy (mgKOH/1 g oil)	สารที่สaponifiy ไม่ได้ (% by weight)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/1 g oil)	ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequiv/1 Kg oil)
น้ำมันหูกวาง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	187.56 ± 2.05 ^b	0.73 ± 0.10 ^b	0.27 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.28 ± 0.28 ^{ns}
	การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	187.14 ± 3.96 ^b	0.78 ± 0.18 ^b	0.27 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.31 ± 0.30 ^{ns}
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต	188.21 ± 1.61 ^b	0.82 ± 0.13 ^b	0.27 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.45 ± 0.02 ^{ns}
น้ำมันถั่วเหลือง	การสกัดด้วยวิธีการหมัก	196.49 ± 0.99 ^a	1.66 ± 0.25 ^a	0.27 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.70 ± 0.23 ^{ns}
	การสกัดด้วยวิธีการหมักร่วมกับปัจจัยเร่ง	195.93 ± 1.52 ^a	1.63 ± 0.07 ^a	0.28 ± 0.00 ^b	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.64 ± 0.03 ^{ns}
	การสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต	195.25 ± 2.22 ^a	1.66 ± 0.17 ^a	0.28 ± 0.00 ^b	0.14 ± 0.00 ^{ns}	1.77 ± 0.26 ^{ns}

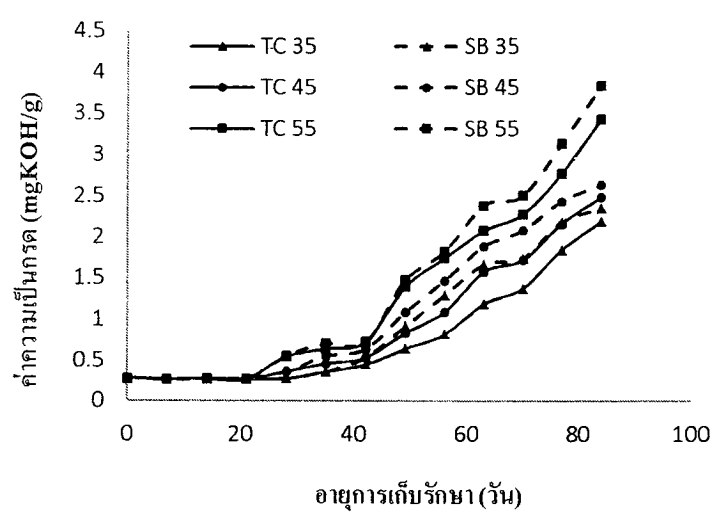
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ผลการเก็บต่อคุณภาพน้ำมันเมล็ดหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่าน้ำมันหูกวางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 3 วิธีการมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาอายุการเก็บของน้ำมันจึงใช้วิธีการสกัดด้วยเครื่องมือสกัดแบบซ็อกเก็ต (Soxhlet extractor) เนื่องจากให้ปริมาณน้ำมันที่มากกว่าวิธีการอื่นๆ โดยใช้น้ำมันปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 15 × 150 มิลลิเมตร ปิดฝาให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน และสุ่มวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่า TBARS ทุก 7 วัน โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง (กිරิตินาฏ พูลเกษร,อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด, 2553)

1. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด

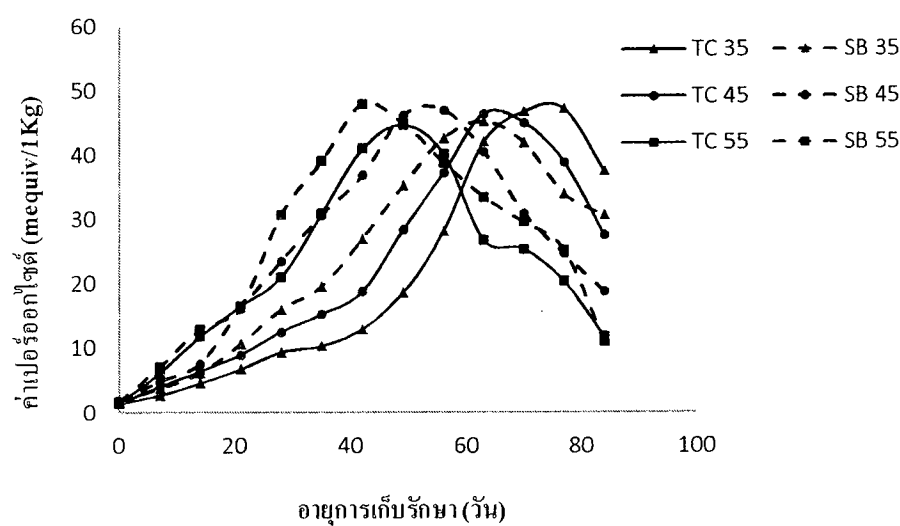
จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.27 และ 0.28 mgKOH/g ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น แสดงในภาพ 8 น้ำมันถั่วเหลืองที่เก็บที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการเพิ่มของค่าความเป็นกรดสูงสุด ในขณะที่น้ำมันหูกวางที่เก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดต่ำที่สุด โดยโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระระเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเห็นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic rancidity) ของน้ำมันนั้น ซึ่งความร้อนในการเก็บรักษาจะเป็นช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น (นิธิยา รันตนาปนนท์, 2548)



ภาพ 8 ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรดของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองกับระยะเวลาการเก็บรักษา ในสภาวะเร่งที่ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส โดย TC คือน้ำมันหูกวาง และ SB คือ น้ำมันถั่วเหลือง

2. การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์

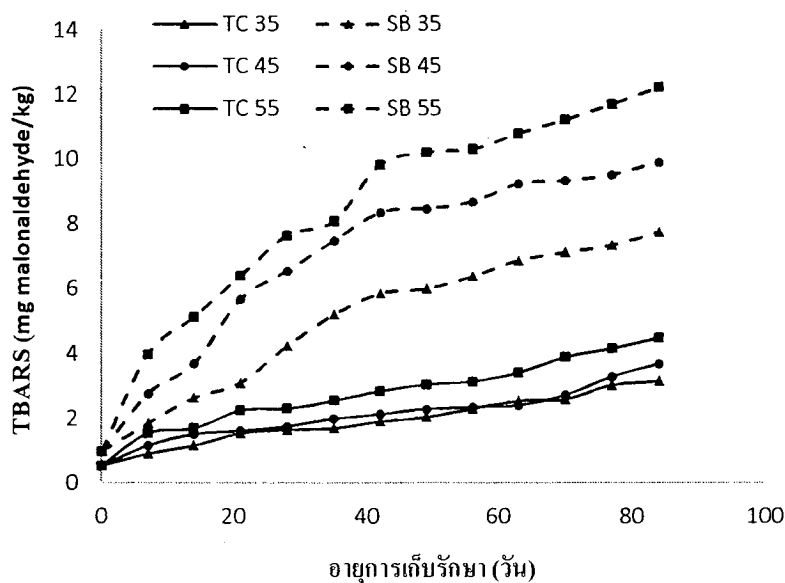
ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดระดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน ณ ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงสารที่เกิดจากอนุมูลอิสระของกรดไขมันด้วย (Che and Jaswir, 2000; Tyagi and Vasishtha, 1996) จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.45 และ 1.77 meq/kg ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส น้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดในระยะเวลาการเก็บที่ 77 และ 63 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส น้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดในระยะเวลาการเก็บที่ 63 และ 56 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส น้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดในระยะเวลาการเก็บที่ 49 และ 42 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 9 ซึ่งผลการทดลองสรุปว่าอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางจะช้ากว่าน้ำมันถั่วเหลืองโดยในช่วงแรกของการเก็บรักษาน้ำมันจะเกิดเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ 40 วัน ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเกิดการเสื่อมเสียคือมีค่าเปอร์ออกไซด์เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดคือ 10 meq/kg โดยทั้ง 3 วิธีการสกัด มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงสุดเข้าใกล้ 50 meq/kg และจะค่อยๆ ลดลง เนื่องปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถึงขั้นยุติ (termination) โดยอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระและมีความคงตัว ส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยุติลง จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลง ซึ่งสารประกอบใหม่ที่ได้จะเป็นพวกแอลดีไฮด์ สามารถตรวจวัดได้จากการหาค่า TBARS (นิธิยา รันตนาปนนท์, 2548)



ภาพ 9 ความสัมพันธ์ของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองกับระยะเวลาการเก็บรักษา ในสภาวะเร่งที่ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส โดย TC คือน้ำมันหูกวาง และ SB คือน้ำมันถั่วเหลือง

3. การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS

ค่า TBARS เป็นการวัดระดับ malonaldehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์รองที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) (Ulu, 2004) จากการวิเคราะห์ค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances) ของน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองพบว่าค่า TBARS ของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.54 และ 0.98 mg malonaldehyde/kg ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ดังแสดงในภาพ 10 ดังนั้นค่า TBARS แสดงให้เห็นถึงปริมาณของปฏิกิริยาที่เกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (peroxidation) ที่เกิดขึ้น และค่า TBARS ยังมีความสัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในแง่ของการเกิดกลิ่นหืนของอาหาร (Campo, et al., 2006)



ภาพ 10 ความสัมพันธ์ของค่า TBARS ของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลืองกับระยะเวลาการเก็บรักษา ในสภาวะเร่งที่ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส โดย TC คือ น้ำมันหูกวาง และ SB คือ น้ำมันถั่วเหลือง

4. ผลการเก็บต่อคุณภาพน้ำมันหูกวางเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า TBARS ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงถึงคุณภาพน้ำมันที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีออกซิเดชัน พบว่า เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้นกับเวลา เพื่อหาอันดับปฏิกิริยา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลาการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (ดังแสดงในสมการ 1) เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลาการเก็บรักษา ได้กราฟเส้นตรงที่มี R^2 สูงสุด (ตาราง 18) และสามารถใช้ทำนายระดับการเสื่อมเสียที่เป็นฟังก์ชันอนุกรมได้ เมื่อนำค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่า TBARS มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเทียบกับเวลาการเก็บ พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงใช้ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นดัชนีสำหรับคำนวณอายุการเก็บน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจากกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์และเวลาการเก็บรักษาพบว่าได้ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) แสดงในตาราง 19

ตาราง 18 ค่า R² แต่ละอันดับปฏิกิริยาของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลือง

Kinetic model	R-square		
	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
ปฏิกิริยาอันดับศูนย์			
น้ำมันหูกวาง	0.983	0.991	0.966
น้ำมันถั่วเหลือง	0.955	0.970	0.966
ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง			
น้ำมันหูกวาง	0.965	0.955	0.924
น้ำมันถั่วเหลือง	0.984	0.966	0.947
ปฏิกิริยาอันดับสอง			
น้ำมันหูกวาง	0.869	0.763	0.628
น้ำมันถั่วเหลือง	0.882	0.810	0.682

ตาราง 19 อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ (k) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์		
	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
น้ำมันหูกวาง	0.276	0.408	0.900
น้ำมันถั่วเหลือง	0.595	0.877	1.208

จากตาราง 19 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อนำค่า k มาแทนค่าในสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (สมการ 1) เพื่อหาอายุการเก็บของน้ำมัน

$$C = C_0 - kt \tag{1}$$

- เมื่อ C หมายถึง ค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น
- C₀ หมายถึง ค่าเปอร์ออกไซด์ที่จุดเริ่มต้น
- k หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยา
- t หมายถึง ระยะเวลาในการเก็บรักษา

พบว่าจากสมการ 1 สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของน้ำมันจากเมล็ดหูกวางและถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส ดังตาราง 20

ตาราง 20 ผลการทำนายอายุการเก็บของน้ำมันหูกวางและน้ำมันถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)		
	35 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส	55 องศาเซลเซียส
น้ำมันหูกวาง	30	20	9
น้ำมันถั่วเหลือง	13	9	6

จากตาราง 20 พบว่าน้ำมันหูกวางสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลา 30, 20 และ 9 วัน ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองสามารถเก็บได้เป็นเวลา 13, 9 และ 6 วัน ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวทำนายได้น้ำมันหูกวางมีแนวโน้มที่สามารถเก็บรักษาได้นานกว่าน้ำมันถั่วเหลือง